فصلنامه محاسبات نرم در علوم مهندسی
دوره ۲، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳
صفحات ۱–۱۸

J. Soft Computing in Engineering Sciences
Volume 2, Issue 4, Winter 2025
Pages 1-18

رویکردی جدید در تصمیم‌گیری پروژه‌های ساخت

رضا مهاجری برج قلعه[۱،*]، توحید پوررستم[۲]، ناصر منصور شریفلو [۳] ، جواد مجروحی سردرود[۴]، ابراهیم صفا[۵]

۱- گروه مهندسی عمران، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران، *Re.mohajeri@iau.ac.ir*

۲- گروه مهندسی عمران، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، *T.Pourrostam@iauctb.ac.ir*

۳- گروه مهندسی عمران، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، *Naser.sharifloo@gmail.com*

۴- گروه مهندسی عمران، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، *j.majrouhi@iauctb.ac.ir*

۵- گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، ebr36.safa@gmail.com

چکیده

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy Process)، به‌عنوان یک تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره، در حوزه مدیریت ساخت توجه روز افزونی را به خود جلب نموده است. اما، کاربردهای آن در حل مسائل مدیریت ساخت به‌طور دقیق مشخص نشده است. تحقیق حاضر ۵۵ مقاله مبتنی بر AHP را که در هشت مجله منتخب مدیریت ساخت از ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱ منتشر شده‌اند، مرورمی‌کند. بررسی مقالات نشان داد که ساختمان‌ها محبوب‌ترین نوع پروژه‌های ساخت و مرحله اجرا مهم‌ترین مرحله چرخه عمر پروژه در کاربرد AHP هستند. همچنین مشخص شد که AHP انعطاف‌پذیر است و می‌تواند به‌عنوان ابزاری مستقل یا در ترکیب با سایر تکنیک‌های تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار گیرد. سپس یک روش جدید تصمیم‌گیری مبتنی بر ترکیب فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تکنیک‌های اقتصاد مهندسی ارائه شده است. روش جدید در یک پروژه ساخت واقعی پیاده سازی شده و مزایای آن نسبت به سایر روش‌های ترکیب شده با AHP ارائه گردیده است.

واژگان کلیدی: پروژه‌های ساخت، تصمیم‌گیری چند معیاره، تکنیک‌های اقتصاد مهندسی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

A New Approach to Construction Projects Decision-Making

1- Department of Civil Engineering, Sha. C., Islamic Azad University, Shahrood, Iran,
Re.mohajeri @iau.ac.ir
2- Department of Civil Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran,
T.Pourrostam@iauctb.ac.ir
3- Department of Civil Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran,
Naser.sharifloo@gmail.com
4- Department of Civil Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran,
j.majrouhi@iauctb.ac.ir
5- Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran,
ebr36.safa@gmail.com

J. Soft Computing in Engineering Sciences
Volume 2, Issue 4, Winter 2025
Pages 1-18

فصلنامه محاسبات نرم در علوم مهندسی
دوره ۲، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳
صفحات ۱–۱۸

Abstract

The analytical hierarchy process (AHP) in construction management is a decision-making technique that has attracted growing attention. However, the applications of AHP for solving construction management problems haven't been thoroughly investigated. This research reviews 55 papers regarding AHP in 8 journals of construction management between 2015 and 2021. Review articles shown that buildings are the most popular construction projects subjected to AHP, and execution stage is the most important stage in the project life cycle. Also, it was found that the AHP is flexible and can be used as an independent tool or combined with other decision-making techniques. Then, a new method is proposed based on combining analytical hierarchy process and engineering economics techniques for decision-making in construction projects. In the following, the new method is implemented in a real construction project and its advantages over other methods combined with the AHP are presented.

Keywords: Analytical Hierarchy Process, Construction Projects, Multi-Criteria Decision-Making, Engineering Economics Techniques.

۱. مقدمه

تصمیم‌گیری به‌عنوان یک فرآیند درباره یک موضوع مهم به‌ویژه در گروهی از افراد یا در یک سازمان تعریف می‌شود [۱]. امّا در عمل دستیابی به یک نتیجه بهینه که مورد قبول همه ذینفعان باشد، بسیار مشکل است، زیرا تصمیم‌گیرندگان، اغلب با مسائلی روبرو هستند که پارامترهای زیادی بر روی تصمیم تأثیر دارد. برای غلبه بر این مشکل محققان، تصمیم‌گیری چند معیاره (Multi-Criteria Decistion Making) را مطرح نموده‌اند [۲-۴] . MCDM یکی از مهم‌ترین شاخه‌های تئوری تصمیم‌گیری است که برای شناسایی بهترین راه حل از میان تمام راه‌حل‌های موجود استفاده می‌شود [۵]. چندین روش برای بهبود فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره ایجاد شده است، از جمله فرآیند تحلیل سلسله مراتبی.

ساعتی،AHP را به‌عنوان یک روش محبوب در تصمیم‌گیری چند معیاره ارائه داد [۶]. که طی چهار دهه گذشته توجه قابل توجهی را در تمام صنایع از جمله صنعت ساخت جلب کرده است. محیط پویا و سرشار از عدم قطعیت صنعت ساخت باعث شده است که تصمیم‌گیری در آن پیچیده و نامطمئن و نیازمند استفاده از AHP باشد [۷-۹]. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به تصمیم‌گیرندگان این امکان را می‌دهد تا چندین معیار را به صورت کیفی،کمی یا ترکیبی (کیفی-کمی) به‌کار گیرند، گزینه‌های بالقوه را ارزیابی کنند و سپس گزینه بهینه را انتخاب نمایند [۱۰ و ۱۱]. این باعث شده است که به‌طور گسترده در تحقیقات مدیریت ساخت مورد استفاده قرار گیرد. با این حال، حوزه‌های کاربرد آن در پروژه‌های ساخت به طور دقیق مشخص نیست. این تحقیق با هدف بررسی حوزه‌های کاربرد AHP در پروژه‌های ساخت و بهبود روش‌های موجود تصمیم‌گیری شکل گرفته است.

۲. روش تحقیق

در این تحقیق، ادبیات مربوط به AHP در مدیریت ساخت در هشت مجله منتخب بررسی شده است. برای جستجو کلمه کلیدی "فرآیند تحلیل سلسله مراتبی" در بخش جستجوی پیشرفته مجلات انتخاب شده در قسمت عنوان/چکیده/کلمات کلیدی مورد استفاده قرار گرفت.

جستجوی اولیه انجام شده محدود به مقالاتی بود که از ۲۰۱۵/۱/۱ تا ۲۰۲۱/۲/۳۰ منتشر شده بودند و منجر به شناسایی ۲۲۷ مقاله تحقیقاتی شد. سپس مروری بر محتوای هر مقاله برای فیلتر کردن مقالات غیر مرتبط انجام شد. در نهایت، ۵۵ مقاله برای تجزیه و تحلیل بیشتر دارای اعتبار شناخته شدند. سپس آنالیز یافته‌ها و دسته‌بندی یافته‌ها انجام شده است. جدول ۱ تعداد مقالات مرتبط جمع‌آوری شده از هر یک از مجلات منتخب را نشان می‌دهد.

جدول ۱- تعداد مقالات مرتبط از مجلات منتخب.

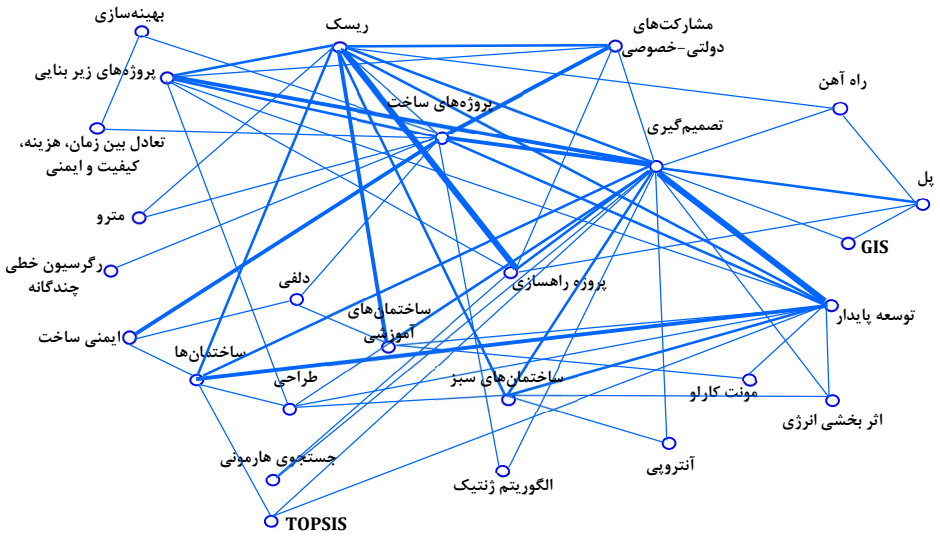
ردیف	نام مجله	تعداد مقالات	درصد مقالات
۱	Automation in Construction	۵	۹
۲	Building and Environmen	۱۳	۲۴
۳	Canadian Journal of Civil Engineering	۵	۹
۴	Civil Engineering and Environmental Systems	۴	۷
۵	Construction and Building Material	۵	۹
۶	International journal of construction management	۱۴	۲۵
۷	Journal of construction engineering and management	۷	۱۳
۸	Journal of Management in Engineering	۲	۴
جمع		۵۵	۱۰۰

۳. آنالیز و دسته‌بندی یافته‌ها

AHP در میان روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، از محبوبیت بسیار بالایی برخوردار است. چراکه امکان فرموله کردن مسئله به صورت سلسله مراتبی را فراهم می‌کند، امکان تحلیل حساسیت روی معیارها را دارد، میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد، تصمیم‌گیری گروهی را از طریق اجماع با استفاده از میانگین هندسی قضاوت‌های فردی فراهم می‌کند که باعث کاهش تعصب در تصمیم‌گیری فردی می‌شود و موقعیت‌هایی مانند ریسک و عدم اطمینان را که فاقد پشتوانه هستند؛ مدل‌سازی می‌کند [۱۲ و ۱۳]. بنابراین یک تکنیک مناسب برای تصمیم‌گیری در پروژه‌های ساخت است. شکل ۱ زمینه اصلی تحقیقات AHP را در ۵۵ مقاله شناسایی شده نشان می‌دهد. همچنین جدول ۲ اطلاعات جامعی از کاربردهای AHP در مدیریت ساخت را ارائه می‌دهد.

J. Soft Computing in Engineering Sciences
Volume 2, Issue 4, Winter 2025
Pages 1-18

فصلنامه محاسبات نرم در علوم مهندسی
دوره ۲، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳
صفحات ۱–۱۸



شکل ۱- زمینه اصلی تحقیقات AHP (شبکه همزمانی با استفاده از کلمات کلیدی)

جدول ۲- خلاصه‌ای از کاربردهای AHP در مدیریت ساخت.

نوع پروژه	نویسنده (گان)	تکنیک (ها)	فاز	کشور	مرجع
زیرساخت‌های شهری	Kuru و Artan، ۲۰۲۰	AHP	کل چرخه عمر	ترکیه	[۱۴]
	Benbachir و همکاران، ۲۰۲۰	FMECA[1] & AHP	بهره‌برداری	الجزایر	[۱۵]
	Low و همکاران، ۲۰۲۰	AHP	برنامه‌ریزی	مالزی	[۱۶]
	Lui و همکاران، ۲۰۱۸	Fuzzy - AHP	برنامه‌ریزی	چین	[۱۷]
	Yildiz و همکاران، ۲۰۱۸	AHP	طراحی	ترکیه	[۱۸]
	Shahata و Shahata، ۲۰۱۶	AHP & Delphi	برنامه‌ریزی	کانادا	[۱۹]
	Li و همکاران، ۲۰۱۶	AHP & Delphi	اجرا	هنگ‌کنگ	[۲۰]
	Ebrahimian و همکاران، ۲۰۱۵	Fuzzy - AHP	برنامه‌ریزی	ایران	[۲۱]
راه/راه‌آهن/پل/تونل	Bhatt و Sarkar، ۲۰۲۰	Fuzzy - AHP	اجرا	هند	[۲۲]
	Sernas و همکاران، ۲۰۲۰	AHP	اجرا	لیتوانی	[۲۳]
	Ikpong و همکاران، ۲۰۲۰	AHP	بهره‌برداری	ایالات متحده	[۲۴]

[1]- Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMECA)

Lyu و همکاران، ۲۰۲۰	Fuzzy - AHP	اجرا	چین	[۲۵]
Metham و همکاران،۲۰۱۹	AHP	اجرا	تایلند	[۲۶]
Sarkar و Singh، ۲۰۱۹	Fuzzy - AHP	اجرا	هند	[۲۷]
Nieto و همکاران، ۲۰۱۹	AHP	تعمیرات	ایالات متحده	[۲۸]
Fabianowski و Jakiel، ۲۰۱۹	Fuzzy - AHP	تعمیرات	هلند	[۲۹]
Antoniou و Aretoulis، ۲۰۱۹	AHP & GP[2]	اجرا	یونان	[۳۰]
Patel و Jha،۲۰۱۷	Fuzzy - AHP	اجرا	هند	[۳۱]
Salem و همکاران، ۲۰۱۷	AHP & CAT[3]	بهره‌برداری	ایلات متحده	[۳۲]
Ferdous و همکاران، ۲۰۱۶	AHP	تعمیرات	استرالیا	[۳۳]
Qiu و همکاران، ۲۰۱۶	Fuzzy - AHP	بهره‌برداری	چین	[۳۴]
Nasrollahi و همکاران، ۲۰۱۵	AHP & BHS[4]	تعمیرات	ایران	[۳۵]

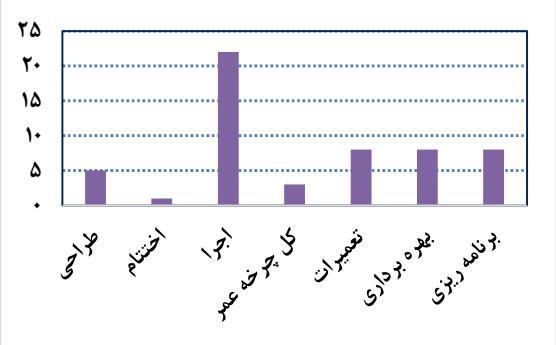
جدول ۲- خلاصه‌ای از کاربردهای AHP در مدیریت ساخت - (ادامه).

نوع پروژه	نویسنده (گان)	تکنیک (ها)	فاز	کشور	مرجع
ساختمان‌ها	Fan و همکاران، ۲۰۲۱	AHP	کل چرخه عمر	انگلستان	[۳۶]
	Yeung و همکاران، ۲۰۲۰	AHP	اجرا	هنگ‌کنگ	[۳۷]
	Sohoni و Jha،۲۰۲۰	AHP	طراحی	هند	[۳۸]
	Fan و Wu، ۲۰۲۰	AHP	بهره‌برداری	هنگ‌کنگ	[۳۹]
	Lan و همکاران، ۲۰۲۰	AHP	اجرا	چین	[۴۰]
	Yang و Mak، ۲۰۲۰	Fuzzy - AHP	بهره‌برداری	هنگ‌کنگ	[۴۱]
	Hou و همکاران، ۲۰۲۰	AHP	بهره‌برداری	هنگ‌کنگ	[۴۲]
	Alshamrani و Alshibani، ۲۰۲۰	AHP	کل چرخه عمر	عربستان	[۴۳]
	Leccese و همکاران، ۲۰۲۰	AHP	برنامه‌ریزی	ایتالیا	[۴۴]
	Kiani و همکاران، ۲۰۱۹	Fuzzy - AHP	اجرا	ایران	[۴۵]
	Amarkhil و Elwakil، ۲۰۱۹	AHP & MLRM[5]	طراحی	ایالات متحده	[۴۶]
	Gade و همکاران، ۲۰۱۹	AHP	تعمیرات	نروژ	[۴۷]
	Vyas و همکاران، ۲۰۱۹	AHP & EM[6]	اجرا	هند	[۴۸]
	Li و همکاران، ۲۰۱۹	AHP	طراحی	چین	[۴۹]
	Hassaninia و همکاران، ۲۰۱۹	Fuzzy - AHP	تعمیرات	ایران	[۵۰]

[2]- Goal Programming (GP)
[3]- Clustering Analysis Technique (CAT)
[4]- Binary Harmony Search (BHS)
[5] - Multiple Linear Regression Modeling (MLRM)
[6] -Entropy Method (EM)

	Wu و همکاران، ۲۰۱۹	AHP	اجرا	چین	[۵۱]
	Zhao و همکاران، ۲۰۱۹	AHP	تعمیرات	چین	[۵۲]
	Fanaei و همکاران، ۲۰۱۹	AHP & GA[7]	بهره‌برداری	کانادا	[۵۳]
	Zarghami و همکاران، ۲۰۱۸	Fuzzy - AHP	طراحی	ایران	[۵۴]
	Gade و همکاران، ۲۰۱۸	AHP	تعمیرات	چین	[۵۵]
	Kamali و همکاران، ۲۰۱۸	AHP - TOPSIS	اجرا	کانادا	[۵۶]
	Nadoushani و همکاران، ۲۰۱۷	AHP	اجرا	استرالیا	[۵۷]
	Rashid و همکاران، ۲۰۱۷	AHP - TOPSIS	اختتام	پاکستان	[۵۸]
	Marzouk و Abubakr، ۲۰۱۶	AHP & GA	اجرا	مصر	[۵۹]
	Plebankiewicz و Kubek، ۲۰۱۶	Fuzzy - AHP	اجرا	هلند	[۶۰]
	Cuadrado و همکاران، ۲۰۱۵	AHP	اجرا	اسپانیا	[۶۱]
	Tan و همکاران، ۲۰۲۱	AHP	اجرا	انگلستان	[۶۲]
	Sharma و Ttivedi، ۲۰۲۰	Fuzzy-AHP	برنامه‌ریزی	هند	[۶۳]
	Ranasinghe و همکاران، ۲۰۱۹	AHP	اجرا	سریلانکا	[۶۴]
سایر پروژه‌های ساخت	Ahsan و Paul، ۲۰۱۸	AHP	اجرا	بنگلادش	[۶۵]
	Martin و همکاران،۲۰۱۸	AHP	برنامه‌ریزی	ترینیداد	[۶۶]
	Lui و همکاران،۲۰۱۷	AHP	اجرا	ایالات متحده	[۶۷]
	Nazari و همکاران، ۲۰۱۷	Fuzzy-AHP	برنامه‌ریزی	ایران	[۶۸]

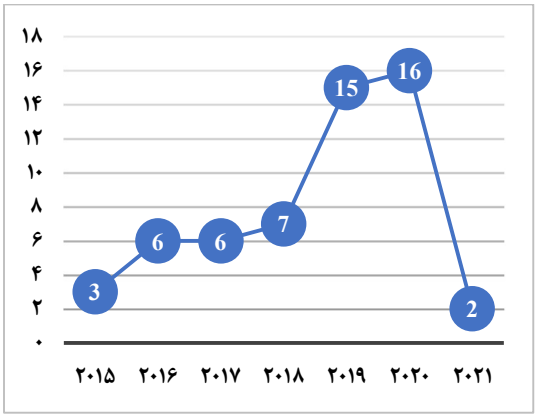
بررسی مقالات نشان داد که روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در تمام مراحل چرخه عمر یک پروژه کاربرد دارد، امّا مرحله اجرا دارای بیش‌ترین کاربرد می‌باشد. در رتبه‌های بعدی مراحل برنامه‌ریزی، بهره‌برداری و تعمیرات قرار دارند. شکل ۲ فراوانی کاربرد AHP در مراحل مختلف چرخه عمر یک پروژه را نشان می‌دهد. همچنین نمای آماری مقالات منتشر شده با عنوان AHP در مدیریت ساخت از (۲۰۱۵/۱/۱ تا ۲۰۲۱/۲/۳۰) در شکل ۳ نشان داده شده است. بر اساس نتیجه این تحقیق حدود ۱۹۵ نویسنده از ۲۴ کشور جهان در بهبود کاربرد AHP در مدیریت ساخت کمک کرده‌اند.



شکل ۲- کاربرد AHP در مراحل چرخه عمر یک پروژه.

[7] -Genetic Algorithms (GA)

J. Soft Computing in Engineering Sciences
Volume 2, Issue 4, Winter 2025
Pages 1-18



شکل ۳- نمای آماری AHP در مدیریت ساخت.

شکل ۴، ده کشور برتر را نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقاله را در مورد این موضوع تحقیق دارند. همانطور که در این شکل دیده می‌شود کشورهای چین، هند و ایران بیش‌ترین تحقیق را داشته‌اند.

شکل ۴- توزیع کاربرد AHP در ده کشور برتر.

حوزه‌های کاربردی AHP را به ترتیب: ساختمان‌ها با ۲۶ مقاله (۴۷٪)، راه/راه‌آهن/پل/تونل با ۱۴ مقاله (۲۵٪)، زیرساخت‌های شهری با ۸ مقاله (۱۵٪) و سایر پروژه‌های ساخت با ۷ مقاله (۱۳٪) از مجموع مقالات تشکیل می‌دهند. لازم به ذکر است که ۲۸ مقاله از ۵۵ مقاله انتخاب شده، روش AHP را به تنهایی مورد استفاده قرار داده‌اند؛ ۱۵ مقاله از ترکیب روش AHP با تکنیک فازی استفاده نموده‌اند و ۱۲ مقاله از ترکیب روش AHP با سایر تکنیک‌ها استفاده نموده‌اند.

سایر تکنیک‌های ترکیب شده با AHP در تحقیقات عبارتند از: حالت‌های خرابی، تحلیل اثرات و بحران‌ها؛ دلفی؛ برنامه‌ریزی آرمانی؛ تجزیه و تحلیل خوشه‌ای؛ جستجوی باینری هارمونی؛ مدل‌سازی رگرسیون خطی چندگانه؛ روش آنتروپی؛ الگوریتم ژنتیک و تاپسیس.

۴. روش پیشنهادی جدید برای تصمیم‌گیری در پروژه‌های ساخت

با توجه به نتیجه این تحقیق، مشخص گردید که AHP انعطاف‌پذیر است و قابلیت ترکیب با تکنیک‌های مختلف تصمیم‌گیری را دارد. بنابراین یک روش ترکیبی جدید مبتنی بر ترکیب روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تکنیک‌های اقتصاد مهندسی برای تصمیم‌گیری در پروژه‌های ساخت پیشنهاد می‌شود. در این روش ابتدا با ساخت سلسله مراتب برای تصمیم، هدف، معیارها و زیرمعیارها را مشخص نموده و با طراحی پرسش‌نامه و انجام مقایسات زوجی، نظرات خبرگان جمع‌آوری شده و وزن نسبی معیارها تعیین می‌گردد. سپس از آن‌ها به عنوان احتمال وقوع استفاده می‌شود. از طرف دیگر هزینه مربوط به هر یک از حالات تصمیم حساب شده، اما چون ممکن است هزینه‌های تصمیم در بازه‌های زمانی مختلف اتفاق بیافتند، با استفاده از تکنیک‌های اقتصاد مهندسی همچون روش ارزش فعلی، روش نرخ بازگشت سرمایه و روش نسبت منافع به مخارج، ارزش معادل برای هزینه‌ها محاسبه می‌گردد. از ضرب احتمال وقوع در هزینه تصمیم، نتایج وزنی تصمیم بدست می‌آید که به عنوان ورودی برای اولویت‌بندی معیارها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

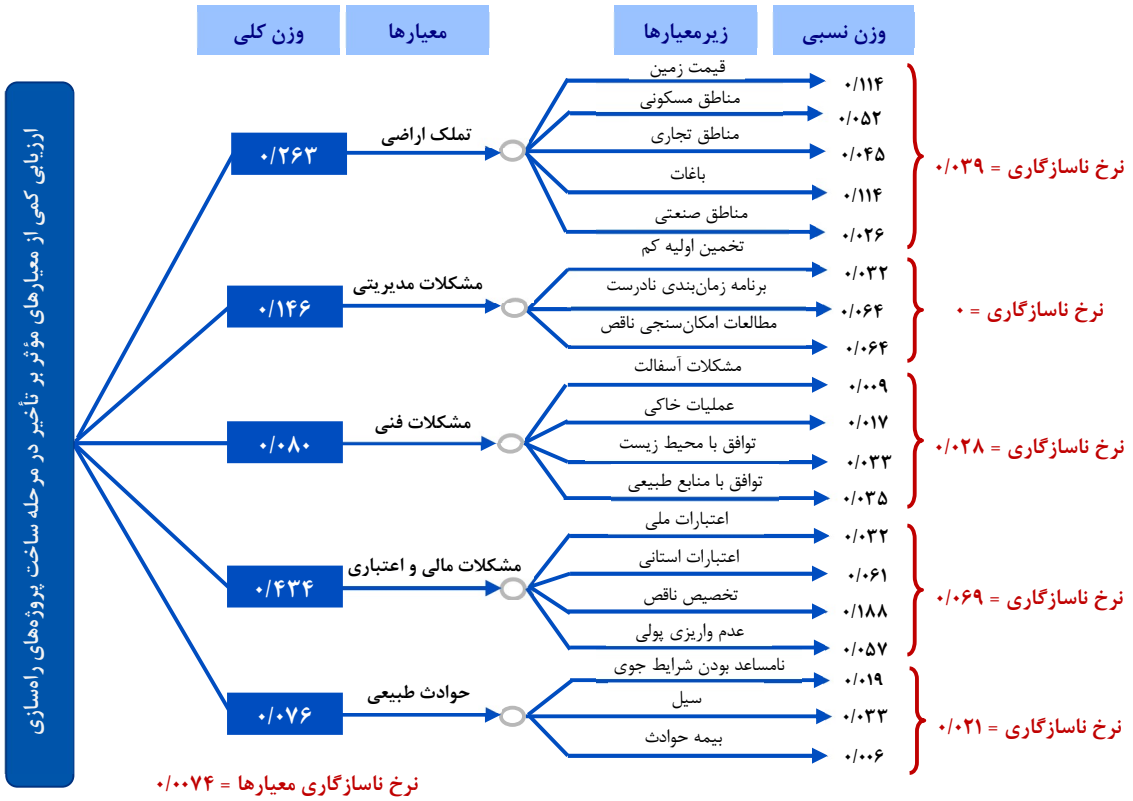
۵. اجرای روش پیشنهادی در پروژه واقعی

برای صحت سنجی، اجرای روش پیشنهادی در یک پروژه واقعی مد نظر قرار گرفت. بدین منظور اولویت‌بندی ریسک‌های تاخیر در یک پروژه راه‌سازی با استفاده از روش ترکیبی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تکنیک‌های اقتصاد مهندسی انجام شده است. پروژه مورد مطالعه، یک پروژه راه‌سازی به طول ۱۸/۱۸۷ کیلومتر در استان سمنان در ایران قرار دارد. مشخصات این مسیر شامل ۱۰ کیلومتر دشت، ۲ کیلومتر تپه‌ماهور و ۶/۱۸۷ کیلومتر کوهستان است [۶۹]. این پروژه دارای تاخیر در مرحله ساخت است و مورد مناسب برای مطالعه موردی می‌باشد.

اولویت‌بندی معیارها و زیر معیارهای تاخیر بر اساس روش AHP برای این پروژه انجام شده است. بر طبق نظر ساعتی، اگر نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد پرسش‌نامه مربوط به مقایسات زوجی معیارها پایا و نتایج قابل قبول است [۷۰].

شکل ۵ عملکرد خروجی وزن کلی معیارها و وزن نسبی زیر معیارها را نشان می‌دهد. از آنجا که نرخ ناسازگاری برای معیارهای اصلی و زیرمعیارها کمتر از ۰/۱ بدست آمده است پس نظر ساعتی تامین شده و محاسبات پایا هستند. در مرحله بعد، وزن نسبی زیر معیارها به عنوان ورودی در روش پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفت.

هزینه تاخیرات پروژه بر اساس اطلاعات واقعی پروژه محاسبه شد. از آنجا که این پروژه در چهار قطعه مختلف و در زمان‌های مختلف اجرا شده بود با استفاده از روش ارزش فعلی (از بین تکنیک‌های اقتصاد مهندسی) و با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول و نرخ بهره تمامی هزینه‌ها به ابتدای دوره طرح منتقل گردید. از ضرب وزن نسبی معیارهای تاخیر در هزینه تاخیرات، نتایج وزنی مربوط به هر یک از معیارها بدست آمد. بعد از محاسبه نتایج وزنی در این روش، اولویت‌بندی ریسک‌ها بر اساس میزان هزینه تاخیر تعیین گردید.



شکل ۵- وزن کلی معیارها و وزن نسبی زیرمعیارها [۱۳].

۶. نتایج اجرای روش پیشنهادی

ابتدا هزینه جسم راه بر مبنای فهرست بهای سال ۱۳۸۵، برای هر کیلومتر از مسیر در مناطق با توپوگرافی مختلف محاسبه شده است. چرا که سال شروع طرح سال ۱۳۸۵ بوده است [۶۹]. بنابراین برآورد هزینه اولیه اجرای کل مسیر از رابطه ۱ بر اساس هزینه هر کیلومتر دشت، تپه ماهور و کوهستانی محاسبه گردید.

از طرفی هزینه ساخت قطعات مختلف طرح مطابق جدول ۳ و در سال‌های مختلف با پیمانکاران منعقد گردیده است.

بنابراین برای محاسبه هزینه واقعی قطعات طرح با استفاده از رابطه ۲ در ابتدای دوره طرح (سال ۸۵) محاسبه شد. با کسر هزینه واقعی از هزینه پیش‌بینی شده، هزینه کل تاخیرات بدست آمد (رابطه ۵).

در روابط زیر، P ارزش فعلی سرمایه، F ارزش آتی سرمایه، i نرخ بهره و n تعداد دوره می‌باشد. با در نظر گرفتن نرخ بهره ۱۵٪ (نرخ بهره متداول بانک در دوره مورد مطالعه) محاسبات هزینه‌ها انجام شد.

جدول ۳- هزینه ساخت قطعات مختلف طرح [۶۹].

ردیف	عنوان قرارداد	مبلغ قرارداد	تاریخ قرارداد
۱	قطعه ۱	۲۴,۲۴۸,۰۸۱,۸۰۵	۱۳۸۹
۲	قطعه ۲	۷۴,۹۳۶,۲۰۱,۹۳۶	۱۳۹۲
۳	قطعه ۳	۲۹۴,۳۶۶,۷۸۸,۶۴۸	۱۳۹۳
۴	قطعه ۴	۱۹۱,۶۹۶,۰۲۲,۸۲۰	۱۳۹۶

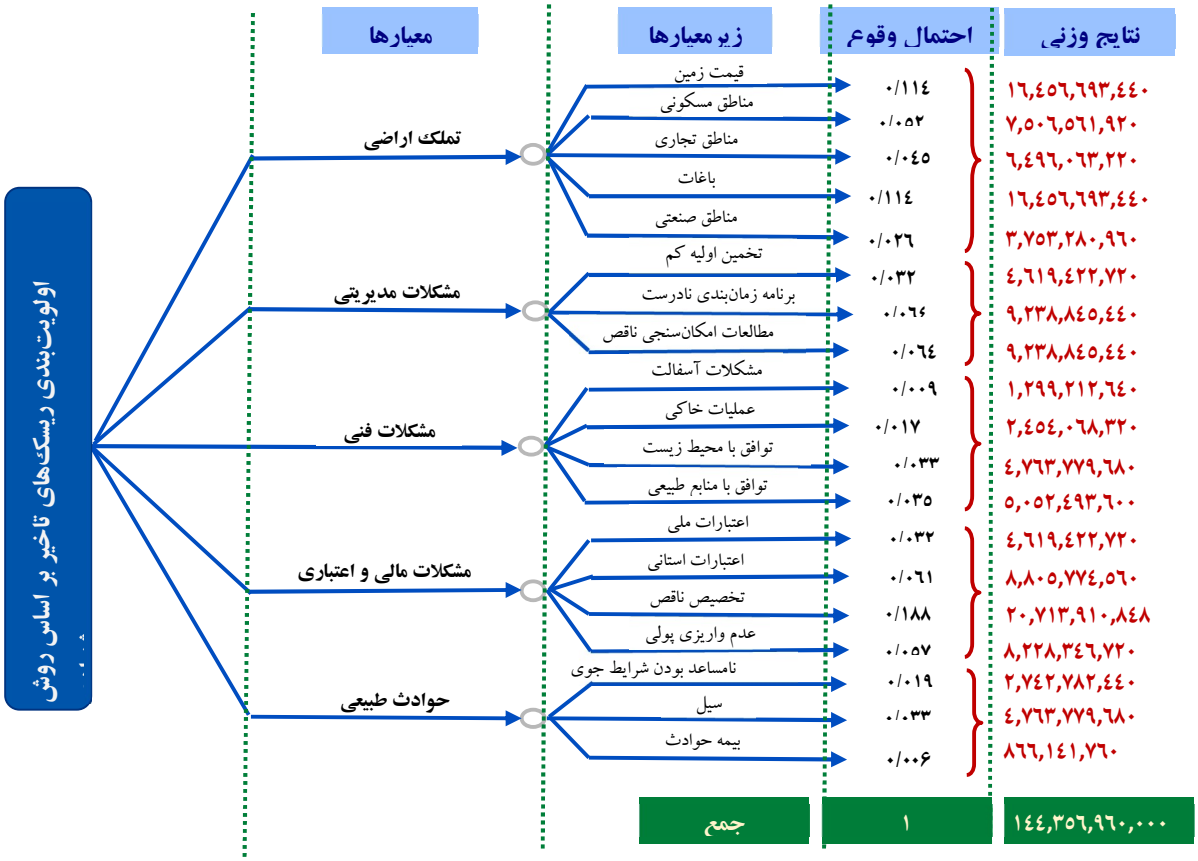
$$۱۰\times۱,۵۶۰,۰۰۰,۰۰۰ + ۲\times۱,۸۰۰,۰۰۰,۰۰۰ + ۶/۱۸۷\times۲,۵۷۰,۰۰۰,۰۰۰ = ۳۵,۱۰۰,۵۹۰,۰۰۰ \quad (۱)$$

$$P = F\,[P/F,\ i\%,\ n] = F\left[\frac{1}{(1+i)^n}\right] \quad (۲)$$

$$P = ۲۴,۲۴۸,۰۸۱,۸۰۵\left[\frac{۱}{(۱+i)^n}\right] + ۷۴,۹۳۶,۲۰۱,۹۳۶\left[\frac{۱}{(۱+i)^n}\right] + ۲۹۴,۳۶۶,۷۸۸,۶۴۸\left[\frac{۱}{(۱+i)^n}\right] + ۱۹۱,۶۹۶,۰۲۲,۸۲۰\left[\frac{۱}{(۱+i)^n}\right] \quad (۳)$$

$$P = ۲۴,۲۴۸,۰۸۱,۸۰۵\left[\frac{۱}{(۱+0/15)4}\right] + ۷۴,۹۳۶,۲۰۱,۹۳۶\left[\frac{۱}{(۱+0/15)7}\right] + ۲۹۴,۳۶۶,۷۸۸,۶۴۸\left[\frac{۱}{(۱+0/15)8}\right] + ۱۹۱,۶۹۶,۰۲۲,۸۲۰\left[\frac{۱}{(۱+0/15)11}\right] = ۱۷۹,۴۵۷,۵۵۰,۰۰۰ \quad (۴)$$

هزینه کل تأخیرات = ۱۷۹,۴۵۷,۵۵۰,۰۰۰ – ۳۵,۱۰۰,۵۹۰,۰۰۰ = ۱۴۴,۳۵۶,۹۶۰,۰۰۰ (۵)



شکل ۶- نتایج وزنی هزینه تاخیرات.

شکل ۶ نتایج وزنی هزینه تاخیرات در پروژه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج وزنی به‌دست آمده تخصیص ناقص، باغات و قیمت زمین به‌ترتیب دارای بیشترین میزان اهمیت می‌باشند. در اولویت‌های بعدی به‌ترتیب برنامه زمان‌بندی نادرست، مطالعات امکان‌سنجی ناقص، اعتبارات استانی، عدم واریزی پولی، مناطق مسکونی، مناطق تجاری، توافق با منابع طبیعی، توافق با محیط زیست، سیل، اعتبارات ملی، تخمین اولیه کم، مناطق صنعتی، نامساعد بودن شرایط جوی، عملیات خاکی، مشکلات آسفالت و بیمه حوادث قرار دارند.

۷. بحث

مزایای روش ترکیبی پیشنهادی نسبت به روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در این است که، AHP به تنهایی یک چارچوب قوی برای تصمیم‌گیری چند معیاره فراهم می‌کند به خصوص در مواردی که دانش اولیه راجع به معیارهای تصمیم ناقص باشد. همچنین با محاسبه نرخ ناسازگاری، پایایی نتایج را ارزیابی کند [۷۲-۷۰]. اما ممکن است در AHP، تصمیماتی که دارای اهمیت نسبی بالا هستند؛ هزینه کمی در برداشته باشند و بالعکس تصمیماتی که دارای اهمیت نسبی پایین هستند؛ هزینه بسیار زیادی را بر پروژه تحمیل نمایند. از این رو تلفیق تکنیک‌های اقتصاد مهندسی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می‌تواند این نقطه ضعف را پوشش دهد. به علاوه پول معیار مناسبی برای تصمیم‌گیری است چرا که

تمامی ذینفعان پروژه درک یکسانی از ارزش آن دارند در حالی‌که درAHP اهمیت نسبی معیارها ارائه می‌گردد و میزان اهمیت واقعی معیارها بیان نمی‌گردد

در ترکیب AHP با سایر تکنیک‌ها، مجموعه فازی بیش‌ترین کاربرد را دارد چرا که در شرایط عدم اطمینان نسبت به داده‌های ورودی می‌توان با استفاده از تکنیک فازی حدود مقادیر ورودی را داشته باشیم. حالت‌های خرابی، تحلیل اثرات و بحران‌ها برای تعیین ریسک‌های ناشی از خرابی‌های ساختاری استفاده می‌شود به عبارت دیگر ساختار سلسله مراتب خرابی‌ها را مشخص می‌کند [۱۵]. دلفی برای تصمیم‌گیری در پروژه‌های چند منظوره و چند ذینفع کاربرد دارد که با توجه به قوانین پذیرفته شده در دلفی، رسیدن به اجماع سریع‌تر و روند کار قانع کننده‌تر برای ذینفعان مختلف می‌شود [۱۹ و ۲۰]. تجزیه و تحلیل خوشه‌ای برای پیش‌بینی سطح ریسک استفاده می‌شود و AHP برای منظور نمودن عوامل کیفی درگیر با سطح ریسک استفاده شده است [۳۲]. جستجوی باینری هارمونی برای یک تابع دو هدفه به منظور حداکثر کردن یک هدف و حداقل کردن هدف دوم مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۵]. مدل‌سازی رگرسیون خطی چندگانه برای تجزیه و تحلیل متغیرهای کمی و کیفی استفاده می‌شود که AHP در بدست آوردن ضرایب ثابت متغیرها کاربرد دارد [۴۶]. الگوریتم ژنتیک برای شبیه‌سازی تصمیم و پیش‌بینی نتایج هر یک از تصمیمات مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵۳ و ۵۹]. ترکیب فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس از طریق یک فرآیند تجمیع شده به دنبال راه‌حل ایده‌ال می‌باشد [۵۶ و ۵۸].

همانطور که نتیجه مطالعات پژوهشگران مختلف نشان می‌دهد ترکیب تکنیک‌های مختلف با AHP سعی در بهبود فرآیند تصمیم‌گیری دارند. در روش پیشنهادی، ارزش خسارات مادی با فرمول‌های اقتصاد مهندسی به ارزش در زمان شروع قرارداد یا هر زمان دیگر قابل محاسبه و بیان می‌باشد. در این روش ما، ضرایب نسبی تاثیر عوامل مختلف را با فرمول ارزش فعلی به ارقام ریالی تبدیل نمودیم تا تصمیم‌گیری برای مدیران پروژه راحت‌تر شود چرا که ارقام دارای واحد قضاوتی شفاف‌تر و دقیق‌تری نسبت به ضرایب نسبی ارائه می‌دهند.

۸. نتیجه‌گیری

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، به یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره محبوب برای سازمان‌دهی، تحلیل و مدل‌سازی تصمیمات پیچیده در حوزه مدیریت ساخت تبدیل شده است. این تکنیک در مراحل مختلف چرخه عمر پروژه و همچنین پروژه‌های مختلف ساخت کاربرد دارد. بررسی مقالات منتخب نشان داد که ساختمان‌ها محبوب‌ترین پروژه‌های کاربرد AHP در مدیریت ساخت هستند و مرحله اجرا بیش‌ترین استفاده را از AHP به عنوان مبنایی برای تصمیم‌گیری داشته‌اند. همچنین مشخص گردید AHP انعطاف‌پذیر است و می‌تواند به‌عنوان ابزاری مستقل یا ترکیبی با سایر ابزارها مورد استفاده قرار گیرد. در ادامه یک روش ترکیبی جدید مبتنی بر فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تکنیک‌های اقتصاد مهندسی جهت اولویت‌بندی پارامترهای تصمیم‌گیری ارائه شد. در این روش، ارزش پول را وارد مساله تصمیم کردیم و به عنوان معیار تصمیم‌گیری معرفی نمودیم. اما از آنجا که هزینه‌ها در یک پروژه ساخت در زمان‌های مختلف به پروژه تحمیل می‌شوند و پول در زمان‌های مختلف دارای مقادیر ارزشی مختلف است، با استفاده از تکنیک‌های اقتصاد مهندسی ارزش معادل را برای معیار تصمیم‌گیری ایجاد کردیم. کاربرد AHP به عنوان یک ابزار مستقل، درجه اهمیت نسبی معیارها را فراهم می‌کند اما ترکیب AHP و

اقتصاد مهندسی، هزینه‌های هر تصمیم را فراهم می‌کند که تلفیق درجه اهمیت نسبی معیار و میزان هزینه‌ای است که بر پروژه اعمال می‌شود. این معیار تصمیم‌گیری در سایر تکنیک‌های ترکیبی AHP وجود نداشت.

مراجع

1. Oxford English Dictionary (OED), (2021), "Oxford University Press, Oxford", U.K.
2. Erdogan, S. A., Saparauskas, J., & Turskis, Z. (2019). A Multi-Criteria Decision-Making Model to Choose the Best Option for Sustainable Construction Management. Sustainability, 11(8), 1-19. 2239.
3. Karakhan, A. A., Rajendran, S., Gambatese, J., & Nnaji, C. (2018). Measuring and Evaluating Safety Maturity of Construction Measuring and Evaluating Safety Maturity of Construction Contractors: Multicriteria Decision-Making Approach. Journal of Construction Engineering and Management, 144(7), 04018054, 1-31.
4. Mahmoudi, A., Abbasi, M., Deng, X., Ikram, M., & Yeganeh, S., (2020). A novel model for risk management of outsourced construction projects using decision-making methods: a case study. Grey Systems: Theory and Application, 10(2), 97-123.
5. Huang T. C. K., Chen Y. L., & Chang T. H. (2015). A Novel Summarization Technique for the Support of Resolving Multi-Criteria Decision Making Problems. Decision Support Systems, 79, 109–124.
6. Saaty T. L. (1980) "The analytical hierarchy process", New York (NY): McGraw-Hill, USA.
7. Jin, H., Zhang, M., & Yuan, Y., (2018). Analytic Network Process-Based Multi-Criteria Decision Approach and Sensitivity Analysis for Temporary Facility Layout Planning in Construction Projects. Applied Sciences, 8(12), 2434.
8. Antoniou F., & Aretoulis G. (2019). A Multi-Criteria Decision-Making Support System for Choice of Method of Compensation for Highway Construction Contractors in Greece. International Journal of Construction Management, 19(6): 492-508.
۹. زرین‌پور، ع.، امیری، م.، نعمت‌الهی، م. ه. (۱۳۹۹). ارزیابی ریسک ساختمان‌های سبز با استفاده از رویکرد ترکیبی دیمیتل و فرآیند تحلیل شبکه‌ای. تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، ۶(۱)، ۱۱۵-۱۳۱.
۱۰. بغدادچی،س.، توحیدی، ق. (۱۳۹۸). روش OWA و کارایی متقاطع برای تحلیل مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره با داده‌های کیفی و کمی. تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، ۴(۴)، ۳۱۶-۳۲۳.
۱۱. موسوی خلخالی، س. ع.، پورشاء، م.، افشین، ح.، چناقلو، م. ر. (۱۳۹۸). مقایسه روش‌های ارزیابی سریع آسیب‌پذیری لرزه‌ای برای ساختمان‌های مسکونی در تبریز با بکارگیری فرآیند تحلیل سلسله مراتبی. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، ۴۹ (۱)، ۱۲۳-۱۳۷.

۱۲. کاظمی، ع.، کاظمی، م. ح.، کاتبی، ع. (۱۴۰۰). اولویت‌بندی عوامل موثر بر تاخیر در پروژه‌های ساخت و ساز ایران. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، ۵۱ (۱)، ۸۵-۹۸.

۱۳. مهاجری برج قلعه، ر.، پوررستم، ت.، منصور شریفلو، ن.، مجروحی سردرود، ج.، صفا، ا. (۱۳۹۸). واکاوی دلایل تاخیر از دیدگاه مدیریت ریسک در اجرای پروژه‌های راه‌سازی (مطالعه موردی: محور گرمسار-سیمین دشت). پژوهش‌های زیرساخت‌های عمرانی، ۵ (۲)، ۸۲-۶۹.

14. Kuru, K., & Artan, D. (2020). A Canvas Model for Risk Assessment and Performance Estimation in Public–Private Partnerships. International Journal of Construction Management, 20(6), 704-719.

15. Benbachir, M., Cherrared, M., & Chenaf, D. (2020). Managing Sewerage Networks Using both Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMECA) and Analytic Hierarchy Process (AHP) methods. Canadian Journal of Civil Engineering, https://doi.org/10.1139/cjce-2020-0287

16. Low, W. W., & Wong, K. S., Lee, J. L. (2019). Cost-Influencing Risk Factors in Infrastructure Projects on Soft Soils. International journal of Construction Management, DOI:10.1080/15623599.2019.1617092

17. Lui, L., Lin, Y., Xiao, Y., Xue, P., Shi, L., Chen, X., & Liu, J. (2018). Quantitative Effects of Urban Spatial Characteristics on Outdoor Thermal Comfort Based on the LCZ Scheme. Building and Environment, 143, 443-460.

18. Yildiz, S., Kivrak, S., & Arslan, G. (2017). Factors Affecting Environmental Sustainability of Urban Renewal Projects. Civil Engineering and Environmental Systems, 34(3-4), 264-277.

19. Shahata, K., & Zayed, T. (2016). Integrated Risk-Assessment Framework for Municipal Infrastructure. Journal of Construction Engineering and Management, 142(1), 04015052.

20. Li, T. H. Y., Ng, S. T., & Skitmore, M. (2016). Modeling Multi-Stakeholder Multi-Objective Decisions during Public Participation in Major Infrastructure and Construction Projects: A Decision Rule Approach. Journal of Construction Engineering and Management, 142(3), 04015087.

21. Ebrahimian, A., Ardeshir, A., Rad, I. Z., & Ghodsypour, S. H. (2015). Urban Stormwater Construction Method Selection using a Hybrid Multi-Criteria Approach. Automation in Construction, 58, 118-128.

22. Bhatt, N., & Sarkar, D. (2020). Evaluation of Success and Risk Factors for Highway Project Performance Through Integrated Analytical Hierarchy Process and Fuzzy Interpretive Structural Modelling. International Journal of Construction Management, 20(6), 653-665.

23. Sernas, O., Zofka, A., Vaitkus, A., & Grazulyte, J. (2020). The Effect of Exposed Aggregate Concrete Gradation on the Texture Characteristics and Durability. Construction and Building Materials, 261, 119921.

24. Ikpong, A., Chandra, A., & Bagchi, A. (2020). Alternative to AHP Approach to Criteria Weight Estimation in Highway Bridge Management. Canadian Journal of Civil Engineering, https://doi.org/10.1139/cjce-2020-0215

25. Lyu, H. M., Sun, W. J., Shen, S. L., & Zhou, A. N. (2020). Risk Assessment Using a New Consulting Process in Fuzzy AHP. Journal of Construction Engineering and Management, 146(3), 04019112.

26. Metham, M., Benjaoran, V., & Sedthamanop, A. (2019). An Evaluation of Green Road Incentive Procurement in Road Construction Projects by Using the AHP. International Journal of Construction Management, https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1635757
27. Sarkar, D., & Singh, M. (2019). Development of Risk Index for Mass Rapid Transit System Project in Western India Through Application of Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP). International Journal of Construction Management, https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1557997
28. Nieto, C. C., Shan, Y., Lewis, P., & Hartell, J. A. (2019). Bridge Maintenance Prioritization using Analytic Hierarchy Process and Fusion Tables. Automation in Construction, 101, 99-110.
29. Fabianowski, D., & Jakiel, P. (2019). An Expert Fuzzy System for Management of Railroad Bridges in Use. Automation in Construction, 106, 102856.
30. Antoniou, F., & Aretoulis, G. (2019). A Multi-Criteria Decision-Making Support System for Choice of Method of Compensation for Highway Construction Contractors in Greece. International Journal of Construction Management, 19(6), 492-508.
31. Patel, D. A., & Jha, K. N. (2017). Developing a Process to Evaluate Construction Project Safety Hazard Index Using the Possibility Approach in India. Journal of Construction Engineering and Management, 143(1), 04016081.
32. Salem, D., Elwakil, E., & Hegab, M. (2017). Risk Level Problems Affecting Microtunneling Projects Installation. Canadian Journal of Civil Engineering, 44(12), 1014-1021.
33. Ferdous, W., Manalo, A., Aravinthan, T., & Erp, G. V. (2016). Properties of Epoxy Polymer Concrete Matrix: Effect of Resin-to-Filler Ratio and Determination of Optimal Mix for Composite Railway Sleepers. Construction and Building Materials, 124, 287-300.
34. Qiu, S., Wang, W., & Wang, K. C. P. (2016). A Comprehensive System for AASHTO PP67-10 based Asphalt Surfaced Pavement Cracking Evaluation. Canadian Journal of Civil Engineering, 43(3), 260-269.
35. Nasrollahi, A., Saffarzadeh, M., Isfahanian, A., & Ghayekhloo, M. (2015). Application of a New Binary Harmony Search Algorithm in Highway Rehabilitation Decision-Making Problems: A Case Study in Iran. Civil Engineering and Environmental systems, 32(4), 335-350.
36. Fan, M., Cao, G., Pedersen, C., Lu, S., Stenstad, L. I., & Skogas, J. G. (2021). Suitability Evaluation on Laminar Airflow and Mixing Airflow Distribution Strategies in Operating Rooms: A Case Study at St. Olavs Hospital. Building and Environment, 194, 107677.
37. Yeung, H.C., Ridwan, T., Tariq, S., & Zayed, T. (2020). BEAM Plus Implementation in Hong Kong: Assessment of Challenges and Policies. International Journal of Construction Management, https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1827692
38. Sohoni, P., & Jha, K. N. (2020). Evaluating the Factors for Shore Selection in Multi-Storey Building Construction. International Journal of Construction Management, DOI:10.1080/15623599.2020.1762034
39. Fan, K., & Wu, Z. (2020). Incentive Mechanism Design for Promoting High-Level Green Buildings. Building and Enviroment, 184, 107230.
40. Lan, G., Wang, Y., Xin, L., & Liu, Y. (2020). Shear Test Method Analysis of Earth Block Masonry Mortar Joints. Construction and Building Materials, 264, 119997.

41. Yang, D., & Mak, C. M. (2020). Relationships Between Indoor Environmental Quality and Environmental Factors in University Classrooms. Building and Environment, 186, 107331.
42. Hou, H., Lai, J. H. K., & Edwards, D. (2020). Gap Theory Based Post-Occupancy Evaluation (GTbPOE) of Dormitory Building Performance: A Case Study and A Comparative Analysis. Building and Environment, 185, 107312.
43. Alshamrani, O. S., & Alshibani, A. (2020). Automated Decision Support System for Selecting the Envelope and Structural Systems for Educational Facilities. Building and Environment, 181, 106993.
44. Leccese, F., Salvadori, G., Rocca, M., & Belloni, E. (2020). A Method to Assess Lighting Quality in Educational Rooms using Analytic Hierarchy Process. Building and Environment, 168, 106501.
45. Kiani, M., Bagheri, M., Ebrahimi, A., & Alimohammadlou, M. (2019). A Model for Prioritizing Outsourceable Activities in Universities Through an Integrated Fuzzy-MCDM Method. International Journal of Construction Management, https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1645264
46. Amarkhil, Q., & Elwakil, E. (2019). Construction Organization Success Strategy in Post-Conflict Environment. International Journal of Construction Management, https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1644761
47. Gade, A. N., Jensen, R. L., Larsen, T. S., Nissen, S. B., & Andresen, I. (2019). Value-Based Decision Making in the Pre-Design Stage of Sustainable Building Renovation Projects – Exploring Two Methods for Weighting Criteria. International Journal of Construction Management, https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1578913
48. Vyas, G. S., Jha, K. N., & Rajhans, N. R. (2019). Identifying and Evaluating Green Building Attributes by Environment, Social, and Economic Pillars of Sustainability. Civil Engineering and Environmental Systems, 36(2-4), 133-148.
49. Li, Y., Li, G., Wang, T., & Zhu, Y. (2019). Semicustomized Design Framework of Container Accommodation for Migrant Construction Workers. Journal of Construction Engineering and Management, 145(4), 04019014.
50. Hassaninia, M., Ajalloeian, R., & Habibi, M. R. (2019). Seismic Microzonation and Building Vulnerability Assessment Based on site Characteristic and Geotechnical Parameters by Use of Fuzzy-AHP Model (A Case Study for Kermanshah City). Civil Engineering and Environmental Systems, 36(2-4), 172-198.
51. Wu, Z., Li, H., Feng, Y., Luo, X., & Chen, Q. (2019). Developing a Green Building Evaluation Standard for Interior Decoration: A Case Study of China. Building and Environment, 152, 50-58.
52. Zhao, X., Tan, Y., Shen, L., Zhang, G., & Wang, J. (2019). Case-Based Reasoning Approach for Supporting Building Green Retrofit Decisions. Building and Environment, 160, 106210.
53. Fanaei, S. S., Moselhi, O., & Alkass, S. (2019). Performance Prediction of Construction Projects using Soft Computing Methods. Canadian Journal of Civil Engineering, 46(7), 609-620.
54. Zarghami, E., Azemati, H., Fatourehchi, D., & Karamloo, M. (2018). Customizing Well-Known Sustainability Assessment Tools for Iranian Residential Buildings using Fuzzy Analytic Hierarchy Process. Building and Environment, 128, 107-128.

55. Gade, A. N., Larsen, T. S., Nissen, S. B., & Jensen, R. L. (2018). REDIS: A Value-Based Decision Support Tool for Renovation of Building Portfolios. Building and Environment, 142, 107-118.
56. Kamali, M., Hewage, K., & Milani, A. S. (2018). Life Cycle Sustainability Performance Assessment Framework for Residential Modular Buildings: Aggregated Sustainability Indices. Building and Environment, 138, 21-41.
57. Nadoushani, Z. S. M., Akbarnezhad, A, Jornet, J. F., & Xiao, J. (2017). Multi-Criteria Selection of Façade Systems Based on Sustainability Criteria. Building and Environment, 121, 67-78.
58. Rashid, K., Razzaq, A., Ahmad, M., Rashid, T., & Tariq, S. (2017). Experimental and Analytical Selection of Sustainable Recycled Concrete with Ceramic Waste Aggregate. Construction and Building Materials, 154, 829-840.
59. Marzouk, M., & Abubakr, A. (2016). Decision Support for Tower Crane Selection with building information Models and Genetic Algorithms. Automation in Construction, 61, 1-15.
60. Plebankiewicz, E., & Kubek, D. (2017). Multicriteria Selection of the Building Material Supplier Using AHP and Fuzzy AHP. Journal of Construction Engineering and Management, 142(1), 04015057.
61. Cuadrado, J., Zubizarreta, M., Pelaz, B., & Marcos, L. (2015). Methodology to Assess the Environmental Sustainability of Timber Structures. Construction and Building Materials, 86, 149-158.
62. Tan, T., Mills, G., Papadonikolaki, E., & Liu, Z. (2021). Combining Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods with Building Information Modelling (BIM): A Review. Automation in Construction, 121, 103451.
63. Sharma, K., & Trivedi, M. K. (2020). Latin Hypercube Sampling-Based NSGA-III Optimization Model for Multimode Resource Constrained Time–Cost–Quality–Safety Trade-Off in Construction Projects. International Journal of Construction Management, https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1843769
64. Ranasinghe, N., Perera, B. A. K. S., & Dilakshan, R. (2019). Drivers of Decisions Behind Outsourcing of Quantity Surveying Services in Construction Projects. International Journal of Construction Management, https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1622199
65. Ahsan, K., & Paul, S. K. (2018). Procurement Issues in Donor-Funded International Development Projects. Journal of Management in Engineering, 34(6), 04018041.
66. Martin, H., Koylass, J., & Welch, F. (2018). An Exploration of the Consistency Limits of the Analytical Hierarchy Process and its Impact on Contractor Selection. International Journal of Construction Management, 18(1), 14-25.
67. Lui, H., Jazayeri, E., & Dadi, G. B. (2017). Establishing the Influence of Owner Practices on Construction Safety in an Operational Excellence Model. Journal of Construction Engineering and Management, 143(6), 04017005.
68. Nazari, A., Vandadian, S., & Abdirad, H. (2017). Fuzzy AHP Model for Prequalification of Engineering Consultants in the Iranian Public Procurement System. Journal of Management in Engineering, 33(2), 04016042.
۶۹. گزارشات مهندسین مشاور، "شرکت مهندسین مشاور دیهوک پارسیان"، تهران، ایران، ۱۳۹۶.

70. Saaty T.L. (1990). How to Make a Decision: the Analytic Hierarchy Process. European Journal Operational Research, 48(1), 9–26.
71. Saaty, T. L. (2000). “Fundamentals of Decision Making and Priority Theory”. (second Ed.). RWS Publications: Pittsburgh, PA, USA.
72. Saaty, T. L. (2002). Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. European Journal of Operational Research, 145, 85–91.